

## **Література**

1. Водний кодекс України: прийнятий Верхов. Радою України від 06.06. 1995 р. №213/95 - ВР // Відом. Верхов. Ради України - 1995. - №24. - Ст. 189.

2. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування // Київ, Мінрегіонбуд України – 2009, С. 52.

3. Рекомендації по визначенню розрахункових витрат води з врахуванням акумуляції для призначення отворів мостів та труб на автомобільних дорогах загального користування Української ССР // Міністерство будівництва і експлуатації автомобільних доріг УССР – 1984, с. 124.

УДК 624.01:620.193

Онищенко А.М., м. Київ, Україна

Гібаленко О.М., м. Київ, Україна

Аксьонов С.Ю., м. Київ, Україна

Федоренко О.В., м. Київ, Україна

Виноградов В.О. м. Київ, Україна

Національний транспортний університет

## **МОНІТОРИНГ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВОЇ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТУ**

Найважливішою вимогою до металоконструкцій прогонових будов мостів є забезпечення їх довговічності при гарантованих показниках безпеки та експлуатаційної придатності в умовах впливів корозійно-агресивних середовищ експлуатації.

Сучасний стан металоконструкцій будівель мостів характеризується зношеністю прогонових будівель, що значною мірою пов'язано з втратою режиму нормальної експлуатації, не своєчасністю проведення планово-попереджувальних ремонтів і низькою якістю технічного обслуговування. В даний час металофонд конструкцій будівель і споруд в Україні складає понад 36 млн. тон, з яких близько 70% відрлівдпльних металоконструкцій експлуатуються в умовах середньо- та сильноагресивних середовищ [1]. За даними NACE International збитки від корозійного руйнування для розвинених економік світу перевищують \$2,2 трлн доларів США на рік.

Проблема забезпечення надійності та довговічності конструкцій споруд, включаючи конструкції мостів, є важливим елементом державної політики щодо організації та здійснення нагляду за корозійним станом основних фондів, оцінкою технічного рівня засобів та методів протикорозійного захисту.

Метою роботи є розробка методики оцінки технологічної безпеки у процесі моніторингу технічного стану МКМС у корозійних середовищах промислових підприємств для продовження залишкового ресурсу сталевих конструкцій мостів з урахуванням допустимих конструктивних, технологічних та експлуатаційних обмежень.

Проблеми міцності та надійності металоконструкцій споруд мостів. Дослідження в галузі міцності та надійності мостових металоконструкцій (МК) ведуться у напрямках: аналіз та оцінка показників надійності за даними експлуатації; експериментальні та чисельні дослідження динамічного стану

конструкцій та визначення дійсних рівнів навантаження; розрахункові та експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС); дослідження закономірностей втомного та крихкого руйнування мостових МК, вдосконалення методів розрахунку на витривалість та довговічність [8, 9].

Моніторинг технічного стану. Основою оцінки технологічної безпеки є моніторинг та технічне діагностування експлуатаційного стану (рис. 1) [4, 5].

Технологічна безпека визначається критеріями ризиків підприємницької діяльності, що характеризують ефективність підтримки якості та довговічності основних фондів при реалізації інноваційно-інвестиційної стратегії розвитку підприємства. Розробку системи кваліметричного моніторингу конструкцій (СКМК) пропонується виконувати за допомогою методу аналізу чутливості до зміни рівня технологічної безпеки промислових об'єктів.



**Рис 1. Схема системи спостережень за корозійним станом при управлінні технологічною безпекою.**

Технологічна безпека представляє важливу структурну складову безпеки підприємства, що характеризує систему заходів для підтримки працездатності, підвищення експлуатаційних властивостей конструкцій будівель та споруд, що повністю або значною мірою вичерпали свій нормативний ресурс. Такі об'єкти розглядаються як джерела потенційної небезпеки під час модернізації (технічного переоснащення), реконструкції та продовження терміну їх експлуатації [10]. Ризики управління технологічною безпекою (РУТБ,  $R_i$ , бал) з урахуванням рівня загроз та вразливості конструкцій представлені у табл. 1.

Аналіз чутливості включає кількісну оцінку РУТБ залежно від показників якості і надійності, які забезпечуються (ПНЗ). Даний метод дозволяє проводити аналітичне визначення рівня технологічної безпеки за зміни ПНЗ. Оцінювання РУТБ та виконується залежно від ПНЗ: наведеної характеристики втрати якості,  $F_e$ ; узагальненого показника технологічної раціональності,  $B_{oz}$ ; індексу ресурсу живучості конструкцій,  $\eta$ ; індексу рівня корозійної безпеки.

Аналітична оцінка проводиться з використанням 10-бальної шкали в результаті розрахункового визначення РУТБ ( $R_i$ ) на основі залежності:

$$R_i = \sum_{i=1}^{i=N} Q_i P_i ,$$

де  $Q_i$  – вагова характеристика значимості ВПКС;

$P_i$  – виявлене при ризик-діагностиці ВПКС значення  $i$ -того ВПКС.

Таким чином, безрозмірне уявлення різних по суті ВПКС дає можливість отримати однакову оцінку інтегральної характеристики рівня технологічної безпеки.

Використання у СКМК подібного аналітичного підходу дозволяє обґрунтовувати технічні та технологічні рішення програм забезпечення надійності (ПЗН) з огляду на фактичний стан конструкцій мостових споруд.

**Методика оцінки характеру та інтенсивності корозійних пошкоджень.** Для моніторингу визначальних параметрів необхідний показник експлуатаційного стану, що дозволяє забезпечити достовірну оцінку та класифікацію рівня корозійної небезпеки у порівнянні з проектними вимогами. Відомо, що діагностична достовірність показників корозійного руйнування добре узгоджується з нормальним законом розподілу випадкових величин [11]. Тому, статистичне обґрунтування корозійно-механічного руйнування однорідних за конструктивними параметрами елементів виконуємо шляхом розрахункового визначення коефіцієнта корозійних втрат  $\gamma_{zf}$ : [12]:

$$\gamma_{zf} = \alpha_k \cdot \alpha_p \cdot \gamma_k \cdot (1 - \delta),$$

де  $\alpha_k$  – коефіцієнт зміни геометричних характеристик перерізів елементів за рівномірної корозії;  $\alpha_p$  – коефіцієнт зміни геометричних характеристик із урахуванням місцевої корозії;  $\gamma_k$  – коефіцієнт зміни розрахункового опору сталі при корозійному розтріскуванні;  $\delta$  – гранична відносна помилка

експериментальної оцінки геометричних характеристик та механічних властивостей з урахуванням нормального закону розподілу випадкових величин.

Таблиця 1 - Ризики управління технологічною безпекою ( $R_i$ , балл) залежно від груп відповідальності, рівня загроз та вразливості конструкцій

Клас наслідків / Групи відповідальності технологічної безпеки	Рівень загрози (категорія технічного стану)														
	низький (I)			обмежений (II)			середній (III)			високий (IV)			граничний (V)		
	оцінка вразливості (категорія відповідальності)														
	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А
CC1 / Об'єкти з функціями обслуговування невикористаного призначення ( $R5$ )	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6	5	6	6
CC2 / Об'єкти з функціями обслуговування виробничого призначення ( $R4$ )	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7	6	7	7
CC2 / Допоміжні об'єкти ( $R3$ )	3	3	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8	7	8	8
CC3 / Основні об'єкти, що допускають ремонт та технічне обслуговування без регламентної зупинки ( $R2$ )	4	4	5	5	5	7	6	7	8	7	8	9	8	9	9
CC3 / Основні об'єкти, для яких ремонт та технічне обслуговування виконується при регламентній зупинці ( $R1$ )	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10	9	10	10

Коефіцієнт рівномірної корозії  $\alpha_k$ , встановлюється відповідно до залежності

$$\alpha_k = \frac{\Omega_k}{\Omega},$$

де  $\Omega_k$  – геометричні характеристики елемента з урахуванням рівномірної корозії;  $\Omega_k$  – початкові геометричні характеристики елемента.

Визначення геометричних характеристик елементів з урахуванням рівномірної корозії проводиться за даними вимірювань штангенциркулями та мікрометрами.

Коефіцієнт зміни геометричних характеристик з урахуванням місцевої корозії  $\alpha_p$  розраховується за формулою

$$\alpha_p = 1 - 2\gamma_p \frac{P}{t_k}, \quad (4)$$

де  $P$  – глибина корозійної поразки, см;  $t_k$  – товщина елемента конструкції з урахуванням рівномірної корозії, см;  $\gamma_p$  – коефіцієнт щільності корозійних поразок.

$$\gamma_p = \frac{F_k}{F},$$

де  $F_k$  – площа локальної корозії виразок та піттингів, см<sup>2</sup>;  $F$  – площа розглянутої ділянки  $j$ -го однорідного елемента.

Статистичне обґрунтування характеристики  $\delta$  проводиться з урахуванням обсягу експериментальних вимірів ( $N$ ), заданої довірчої ймовірності ( $\gamma$ ), коефіцієнта варіації ( $V$ ) показників корозійного зносу (табл. 2).

Таблиця 2 – Кількість інструментальних вимірів  $N$  конструктивних однорідних елементів

$\delta$	$\gamma$	$N$ при $V$				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,05	0,80	4	6	13	20	25
	0,90	8	15	25	40	65
	0,95	13	25	40	66	100
	0,99	25	50	100	150	200
0,10	0,80	-	3	5	8	10
	0,90	3	5	8	13	15
	0,95	5	8	13	20	25
	0,99	8	15	25	32	50
0,15	0,80	-	-	3	4	5
	0,90	-	3	4	6	8
	0,95	3	5	6	10	13
	0,99	5	8	13	5	25
0,20	0,80	-	-	-	-	3
	0,90	-	-	4	5	6
	0,95	-	4	5	6	8
	0,99	4	6	8	10	15

Результати розрахункової оцінки коефіцієнта  $\gamma_f$  і фактичні значення визначальних параметрів корозійної небезпеки представлені з прикладу низки об'єктів (табл. 3) [9].

**Технічне діагностування несучої здатності фактичного стану об'єкта.** Специфіка розрахунку конструкцій мостів полягає в режимі роботи споруди [13]. Зусилля в елементах визначалися методом кінцевих просторових елементів з використанням обчислювального комплексу «ПК ЛІРА САПР». Отримано такі результати контролю напружено-деформованого стану несучих конструкцій з урахуванням ВПКС [14]: несуча здатність споруди не забезпечена внаслідок виникнення значних дотичних напружень від горизонтального навантаження та вигину прогонової будови моста в горизонтальній площині, та можливістю подальшого розвитку втомних тріщин; несуча

здатність елементів кріплення балок та ферм мосту крана забезпечена; несуча здатність елементів консолі з боку опор під час переміщення рухомого складу; напруги в окремих елементах досягають граничних значень або перевищують їх через втрату поперечного перерізу внаслідок корозійного зношування.

### **Висновки:**

1. Розроблено порядок кваліфікованого моніторингу конструкцій з використанням методу аналізу чутливості для оцінки рівня технологічної безпеки промислових об'єктів.

2. Встановлено ВПКС конструкцій, що дозволяють проводити контроль корозійного руйнування для технічного діагностування несучої здатності сталевих конструкцій високонантажених машин.

### **Література**

1. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Цільова комплексна програма НАН України. Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2013 – 2015 рр. Наук. керівник – академік Б.Є. Патон. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, - 2015. – 816 с.

2. Королёв В.П. Критические функции безопасности при анализе рисков коррозионного разрушения стальных конструкций / В.П. Королёв // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. К.: Сталь, 2011. – Вип. 7. – С. 133-140.

3. Gibalenko, A. N. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. N. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualnie problemy

konstrukcji metalowych : Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11-28.11.2014). – Gdansk : University of Technology. – 2014. – P. 98–102..

4. Гибаленко А.Н. Защита от коррозии строительных металлических конструкций: монография / А.Н. Гибаленко // Мариуполь: ПГТУ, 2015. – 289 с.

5. Shimanovskiy O.V., Gibalenko O.M., Onyshchenko A.M. (2020). An integrated approach to managing the corrosion protection of metal structures while ensuring technological safety in the condition's metallurgical enterprises. Coll. Sciences. works of Ukrinstalkon them. V.M. Shimanovsky. Publishing house Stal. 25-26. 39 – 58..

6 Cai F. Fatigue Life Analysis of Crane K-Type Welded Joints Based on Non-Linear Cumulative Damage Theory / F. Cai, X. Wang, J. Liu, // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering 60(2014)2, 135-144. – Slovenia. – pp. 135-144.

7 ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.

8. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress (13.09-17.09.2010) / From the Earth`s Depths to Space Heights. – Moscow, 2010. – Book of Abstracts. – 534 p.

9 Stephen D. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection Volume 13A / D. Stephen, Cramer, Bernard S., Covino – USA: ASM International. – 2006. – 1342 p.

10 Shimanovskyj O.V. (2008). Conceptual bases of system of technical regulation of reliability and safety of building structures. Industrial construction and engineering. №1, 4-9..

11 Suresh S. Fatigue of Materials / S. Suresh // UK: Cambridge university. –2006. – 704 p.

12 Pratik R. A Review on Structural Analysis of Overhead Crane Girder Using FEA Technique / R. Pratik, V.K. Patel // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) – Elsevier – Volume 2, Issue 4. – 2013. – pp. 41-44.

13. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation. 15. ISO 9223:2012.

14. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics Sixth edition / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – USA: Elsevier, McGraw-Hill – 2005. – 648 p.

УДК:332.363

Петренко О.Я., м. Харків, Україна

Державний біотехнологічний університет

## **РОЛЬ ПРОЕКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ В КОНСОЛІДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ**

Нераціональні розміри землеволодінь, черезсмузжя, вкраплення дрібних ділянок інших власників у сформовані масиви земель аграрних господарств стримують оптимізацію сільськогосподарського землеволодіння і землекористування та